



EESTI MAAÜLIKOOL  
Metsandus- ja maaehitusinstituut

**Liis Sepp**

**PEENJUURTE PRODUKTSIOON KASE (*Betula pendula* Roth.)-KUUSE (*Picea abies* (L.) Karst.) SEGAPUISTUTE AEGREAS**

**FINE ROOT PRODUCTION IN A CHRONOSEQUENCE OF SILVER BIRCH (*Betula pendula* Roth.)-NORWAY SPRUCE (*Picea abies* (L.) Karst.) MIXED FORESTS**

Bakalaureusetöö  
Loodusvarade kasutamise ja kaitse õppekava

Juhendaja: Teadur Mats Varik, *PhD*

Tartu 2017



Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Liis Sepp		Õppekava: loodusvarade kasutamine ja kaitse	
Pealkiri: Peenjuurte produktsioon kase ( <i>Betula pendula</i> Roth.)-kuuse ( <i>Picea abies</i> (L.) Karst.) segapuistute aegreas			
Lehekülgi: 26	Jooniseid: 9	Tabeleid: 6	Lisasid: 1
Osakond:	Metsakasvatus		
Uurimisvaldkond:	Metsakasvatus		
Juhendaja(d):	Mats Varik		
Kaitsmiskoht ja aasta:	Tartu, 2017		
<p>Käesoleva uurimistöö eesmärgiks oli uurida peenjuurte (<math>d \leq 2</math> mm) produktsiooni viies erineva vanusega (23-, 30-, 40-, 53- ja 60-aastane) jänesekapsa kasvukohatüübi kase (<i>Betula pendula</i> Roth.)-kuuse (<i>Picea abies</i> (L.) Karst.) segapuistus. Uuritud puistud asusid Lõuna-Eestis.</p> <p>Peenjuurte produktsiooni hinnati juurevõrkude meetodil. Igale proovialale sisestati 2016. aasta sügisel 45 juurevõrku, mis võeti välja aasta pärast.</p> <p>Peenjuurte aastane produktsioon 23-aastases puistus oli <math>1,01 \text{ t ha}^{-1}</math> (millest kase peenjuurte produktsioon <math>0,8 \text{ t ha}^{-1}</math>, kuuse <math>0,15 \text{ t ha}^{-1}</math> ja rohhtaime <math>0,06 \text{ t ha}^{-1}</math>), 30-aastases puistus <math>1,13 \text{ t ha}^{-1}</math> (KS <math>0,32 \text{ t ha}^{-1}</math>, KU <math>0,8 \text{ t ha}^{-1}</math>, ROHT <math>0,01 \text{ t ha}^{-1}</math>), 40-aastases puistus <math>0,65 \text{ t ha}^{-1}</math> (KS <math>0,48 \text{ t ha}^{-1}</math>, KU <math>0,14 \text{ t ha}^{-1}</math>, ROHT <math>0,03 \text{ t ha}^{-1}</math>) 53-aastases puistus <math>0,78 \text{ t ha}^{-1}</math> (KS <math>0,25 \text{ t ha}^{-1}</math>, KU <math>0,48 \text{ t ha}^{-1}</math>, ROHT <math>0,05 \text{ t ha}^{-1}</math>) ja 60-aastases puistus <math>2,16 \text{ t ha}^{-1}</math> (KS <math>0,43 \text{ t ha}^{-1}</math>, KU <math>1,55 \text{ t ha}^{-1}</math>, ROHT <math>0,18 \text{ t ha}^{-1}</math>).</p> <p>Uuritud puistute peenjuurtesse produktsiooniga seotud süsiniku varud olid vastavalt 1,01, 1,13, 0,65, 0,78, 2,16 <math>\text{t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}</math> ja peenjuurte varise kaudu mulda jõudnud süsiniku hulgad vastavalt 0,69, 0,66, 0,41, 0,56 ja 1,26 <math>\text{t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}</math>.</p>			
Märksõnad: <i>Betula pendula</i> , <i>Picea abies</i> , peenjuured, peenjuurte produktsioon, süsinik, peenjuurte eluiga, peenjuurte käibekiirus			

Estonian University of Life Sciences		Abstract of Bachelor's Thesis	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Author: Liis Sepp		Speciality: Forest Management	
Title: Fine root production in a chronosequence of Silver birch ( <i>Betula pendula</i> Roth.)-Norway spruce ( <i>Picea abies</i> (L.) Karst.) mixed forests			
Pages: 26	Figures: 9	Tables: 6	Appendixes: 1
Filed:	Silviculture		
Field of research:	Silviculture		
Instructor(s):	Mats Varik		
Place and year of defence:	Tartu, 2017		
<p>The aim of this study was to estimate fine root (<math>d \leq 2</math> mm) production in five <i>Oxalis</i> boreal forest site type birch (<i>Betula pendula</i> Roth.) -spruce (<i>Picea abies</i> (L.) Karst.) mixed forests of different ages (23-, 30-, 40-, 53- ja 60-year-old). The stands involved in present study were located in Southern Estonia. The mesh root method was used for estimation of fine root production.</p> <p>The annual fine root production in the 23-year-old stand was 1,01 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (of that the Silver birch fine root production was 0.8 t ha<sup>-1</sup> a, Norway spruce 0.15 t ha<sup>-1</sup>, grasses 0.06 t ha<sup>-1</sup>), 30-year-old stand 1.13 t ha<sup>-1</sup> (0.32 t ha<sup>-1</sup>, 0.8 t ha<sup>-1</sup>, 0.01 t ha<sup>-1</sup>, respectively), 40-year-old stand 0.65 t ha<sup>-1</sup> (0.48 t ha<sup>-1</sup>, 0.14 t ha<sup>-1</sup>, 0.03 t ha<sup>-1</sup>, respectively), 53-year-old stand 0.78 t ha<sup>-1</sup> (0.25 t ha<sup>-1</sup>, 0.48 t ha<sup>-1</sup>, 0.05 t ha<sup>-1</sup>, respectively), 60-year-old stand 2.16 t ha<sup>-1</sup> (0.43 t ha<sup>-1</sup>, 1.55 t ha<sup>-1</sup>, 0.18 t ha<sup>-1</sup>, respectively).</p> <p>Annual carbon accumulation in fine roots was 1.01, 1.13, 0.65, 0.78 and 2.16 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, respectively, and annual carbon input into the soil was 0.69, 0.66, 0.41, 0.56 and 1.26 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, respectively.</p>			
Keywords: <i>Betula pendula</i> , <i>Picea abies</i> , fine root production, carbon sequestration, fine root longevity, fine root turnover			

## Sisukord

SISSEJUHATUS .....	5
1. METOODIKA .....	7
1.1 Proovialade kirjeldus .....	7
1.1 Peenjuurte produktsiooni hindamine .....	8
1.1.1 Välitööd .....	8
1.1.2 Laboratoorsed tööd .....	9
2. TULEMUSED JA ARUTELU .....	10
2.1 Peenjuurte produktsioon .....	10
2.2 Puistu vanus .....	12
2.3 Puistu tihedus .....	12
2.4 Puistu rinnaspindala .....	14
2.5 Puistu biomass .....	14
2.6 Süsiniku kontsentratsioon peenjuurtes .....	15
2.7 Süsiniku voog mulda läbi juurevarise .....	16
VIIDATUD ALLIKAD .....	21
SUMMARY .....	24
LISAD .....	25
Lisa 1. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta .....	26

## SISSEJUHATUS

Inimtegevuse mõju ökosüsteemidele on viimase sajandi jooksul olnud märgatav. Suurenenud kasvuhoonegaaside kontsentratsioon atmosfääris on endaga kaasa toonud muutuseid nii kliimas kui ka atmosfääris – temperatuuri ja päikesekiirguse intensiivsuse tõus, sademete hulga muutused, tugevad tormid (Norby & Jackson 2000, Arnold 2004, Broadmeadow *et al.* 2005, Le Quere *et al.* 2016). Üheks suurimaks inimese poolt atmosfääri paisatavaks kasvuhoonegaasiks peetakse süsinikdioksiidi, mille aastane kontsentratsioon on alates 18. sajandi keskpaigast tõusnud 277 ppm-lt praeguse 399-ni (Le Quere *et al.* 2016). Arvatakse, et kui troopiliste metsade biomass ja muldades leiduv süsinikuvaru kahaneb, võib süsinikdioksiidi kontsentratsioon käesoleva sajandi lõpuks küündida isegi 990 ppm-ni (Broadmeadow *et al.* 2005). Viimasel kümnendil (2006-2015) on 91% inimese poolt tekitatud süsiniku emissioonist põhjustatud fossiilsete kütuste põletamise ja tööstusliku tegevuse tagajärjel ning 9% maakasutuse muutuste ehk metsade suuremahuliste raiete tulemusena (Wang *et al.* 2015, Le Quere 2016).

FAO (2015) andmetel on umbes 30% maismaast kaetud metsaga, mis seovad endas 80% maapealsetest ja 40% maa-alustest maismaa süsinikuvarudest. Metsade suutlikkus salvestada nii tähelepanuväärsel hulgal süsinikku biomassi ja mulda annab aluse arvamusele, et metsad võivad olla üheks kliimamuutuste leevendajateks (Arnold 2004) vähendades õhku paisatava süsiniku hulka atmosfääris. Seetõttu on süsiniku voogude ning süsiniku maapealsete ja maa-aluste varude uurimine erinevates metsaökosüsteemides tõusmas järjest olulisemale kohale. Kuna Eesti ühines 1998. aastal Kyoto protokolliga, mille üks punktidest näeb ette iga-aastast metsanduse ja maakasutuse valdkondade kasvuhoonegaaside heitkoguste inventuuraruannete esitamist ÜRO kliimamuutuste raamkonverentsi sekretariaadile, siis on vastavasisulised metsade süsinikuringe teadusuuringud aktuaalsed ka selle tarbeks.

Metsaökosüsteemide maa-alused osad moodustavad 10-45% puude biomassist, millest enamuse moodustavad kännud ja jämedad juured (Finer *et al.* 2007). Peente juurte (diameeter  $\leq 2$  mm) (Makkonen & Helmisaari 2001, Ostonen & Lõhmus 2004, Finer *et al.* 2011, Wang *et al.* 2015, Terzaghi *et al.* 2016, Van Do *et al.* 2016) osakaal kogu juurestiku

biomassist jääb 2-3% juurde (Ostonen & Lõhmus 2004, Brunner & Godbold 2005). Seejuures ligi 80% peenjuurtest paiknevad mullakihi pindmises 20-sentimeetrises osas, kuna sinna jõudev toitainete hulk on kõige suurem (Uri *et al.* 2007, Bhuiyan *et al.* 2016). Peenjuured on juuresüsteemi kõige aktiivsemaks osaks (Borja *et al.* 2008) ning olenemata nende miniatuursest läbimõõdust jagunevad nad omakorda veel erinevate talitluslike ülesannetega kasvu- ja juhtjuurteks ning imijuurteks. Kasvujuured talitlevad mullaruumalade hõivamisega ning kasvades kujunevad neist juhtjuured, mille funktsionaalsus seisneb eelkõige toitainete transpordis. Kõige aktiivsemaks peenjuurestiku osaks loetakse lühikesi (pikkus alla 10 mm) ja 0,2-0,8 mm läbimõõduga puitunud imijuuri (Ostonen & Lõhmus 2004), mis ektomükoriisaseene niidistiku kaasabil ammutavad mullast vett ja mineraalseid toitaineid (Rosenvald 2011). Tagamaks piisav mineraalsete toitainete hulk, peavad puud pidevalt oma juuresüsteemide biomassi, pikkust ja pindala suurendama (Rosenvald 2011), aidates nii kaasa metsade ökosüsteemi toimimisele kui ka süsiniku akumulatsioonile maa-alustes osades (Aosaar *et al.* 2013).

Käesoleva töö eesmärk oli uurida peenjuurte aastast produktsiooni, sellega peenjuurtesse seotud süsiniku hulka ja läbi juurevarise mulda jõudnud süsiniku hulka kase-kuuse segapuistute aegreas jänesekapsa kasvukohatüübis. Aegrea meetodit peetakse kõige praktilisemaks meetodiks süsiniku dünaamika uurimisel, kuna see annab võimaluse uurida pikaajalisi muutusi lühikese aja vältel (Karu 2005). Aastaraamat mets 2014 andmetel on jänesekapsa kasvukohatüüp levinuim kasvukohatüüp Eestis, moodustades metsade kogupindalast 360 000 hektarit ehk ligi 16%. Lõhmuse (2004) järgi laanemetsade tüübirühma kuuluvad jänesekapsa kasvukohatüübi metsad asuvad parasniisketel muldadel, kus levinuimaks puuliigiks on harilik kuusk (*Picea abies*), kuid leidub ka arukaske (*Betula pendula*). Lähtekivimiks on valdavalt karbonaadiivaene saviliiv- või liivsavimoreen. Kasvukohatüüp on kõrge tootlikkusega ning kuulub puidukvaliteedilt parimate sekka. Sellised kasvukohad on eelkõige levinud Lõuna- ja Kagu-Eestis, kuid ka Kesk- ja Põhja-Eestis.

# 1. METOODIKA

## 1.1 Proovialade kirjeldus

Hindamaks peente juurte produktsiooni kase-kuuse segametsades, rakendati aegrea meetodit. See tähendab, et katsealadeks valiti viis erineva vanusega (23-, 30-, 40-, 53- ja 60-aastased) jänesekapsa kasvukohatüübi kase-kuuse segapuistut, mis paiknesid Tartu- ja Põlvamaa metskondades. Kõigile katsealadele rajati proovitükid (20x20 meetrit), mis takseeriti (tabel 1). Antud bakalaureusetöö on üks osa projektist „Süsinikubilanss kuuse-kase segametsade vanuseraas“, mille eesmärk oli hinnata süsinikubilanssi ja dünaamikat. Kõik käesolevas bakalaureusetöös teostatud välitööd viidi läbi professor Veiko Uri juhendatava töörühma poolt ning neis protsessides autor ise ei osalenud. Küll aga osales töö autor sarnastel välitöödel teise projekti raames.

**Tabel 1.** Katsealade takseerandmed

Katseala nimi	Vanus, (a)	Diameeter, (cm)	Kõrgus, (m)	Rinnaspindala (m <sup>2</sup> /ha <sup>-1</sup> )	Puistu tihedus (tk/ha <sup>-1</sup> )
<b>Kask</b>					
KIK 23	23	17,0	18,2	9,6	423
KIK 30	30	14,8	19,4	15,3	888
KIK 40	40	14,2	23,0	10,5	667
KIK 53	53	20,4	25,3	19,5	595
KIK 60	60	29,0	30,9	17,6	267
<b>Kuusk</b>					
KIK 23	23	12,6	12,8	8,6	692
KIK 30	30	14,9	13,9	10,7	613
KIK 40	40	22,5	23,5	19,9	500
KIK 53	53	14,8	20,7	18,0	1048
KIK 60	60	19,0	22,7	17,2	611

## 1.1 Peenjuurte produktsiooni hindamine

### 1.1.1 Välitööd

Käesolevas töös kasutati peenjuurte produktsiooni hindamiseks juurevõrkude meetodit (Hirano *et al.* 2009). Valitud katsealadele sisestati (joonis 1) spetsiaalse installaatori abil 2015. aasta sügisel igale proovialale 3x15 juurevõrku. Juurevõrkude väljavõtmine toimus 2016. aasta sügisel, kui paigaldamisest oli möödunud üks aasta. Labida abil eemaldati võrgud mullast nii, et nende ümber jäaks 5 cm mullapall, mis aitas säilitada juurevõrgu ümber olevat mullastruktuuri. Kõik proovid paigutati eraldi karpidesse, markeeriti vastavalt ning toimetati laborisse.



**Joonis 1.** Juurevõrkude paigaldamine proovialadele



### 1.1.2 Laboratoorsed tööd

Välitööde lõppedes säilitati proove temperatuuril +4 °C edasise menetlemiseni. Peenjuurte produktsiooni hindamiseks eemaldati proove ümbritsev mullapall nii, et kummalgi pool juurevõrku säiliks 1 cm pikkused juured (joonis 2). Läbi võrgu kasvanud peenjuured eraldati juurevõrkudest ning paigutati seejärel veega täidetud Petri tassidesse. Järgnes peenjuurte sorteerimine binokulaari all pintsettide abil (joonis 3). Eesmärgiks oli eraldada kuuse, kase ja rohttaimede peened juured. Sorteeritud proovid asetati märgistatud paberümbrikutesse ning kuivatati kuivatuskapis +70 °C juures. Absoluutkuivad peenjuured kaaluti 0,001 g täpsusega ja arvutati peenjuurte produktsioon, neisse seotud süsiniku hulk ja läbi peenjuurte varise mulda jõudnud süsiniku hulk ning peenjuurte eluiga ja käibekiirus.



**Joonis 2.** Liigsest mullast puhastatud juurevõrk



**Joonis 3.** Kuuse-, kase- ja rohttaimede peenjuurte eraldamine

## 2. TULEMUSED JA ARUTELU

### 2.1 Peenjuurte produktsioon

Kuna peenjuurte uurimine on väga keeruline, aeganõudev ja kulukas protsess (Hertel & Leuschner 2002, *Finer et al.* 2007, *Hirano et al.* 2009), eelkõige tänu maa-alusele paiknemisele, siis on nad kogu maailmas veel ühed vähemuuritumateks osadeks metsade süsinikuringes (Hertel & Leuschner 2002). Sellest hoolimata on hinnangute andmiseks välja töötatud mitmeid erinevaid meetodilisi võimalusi – juurevõrgud, juuresukad, mulla järjestikune puurimine, minirisostronid jne (*Hirano et al.* 2009, *Lukac & Godbold* 2010, *Osawa & Aizawa* 2012) – kuid teadlased ei ole efektiivseima meetodi osas veel kompromissini jõudnud (Hertel & Leuschner 2002, *Yuan & Chen* 2012, *Van Do et al.* 2016). Seega tuleb arvestada asjaoluga, et erinevad meetodid võivad mõjutada saadud tulemusi. Antud töös kasutatud juurevõrkude meetodikat peetakse võrreldes teiste nimetatutega lihtsamaks, kiiremaks ja mullale minimaalseid häiringuid tekitavaks (*Hirano et al.* 2009).

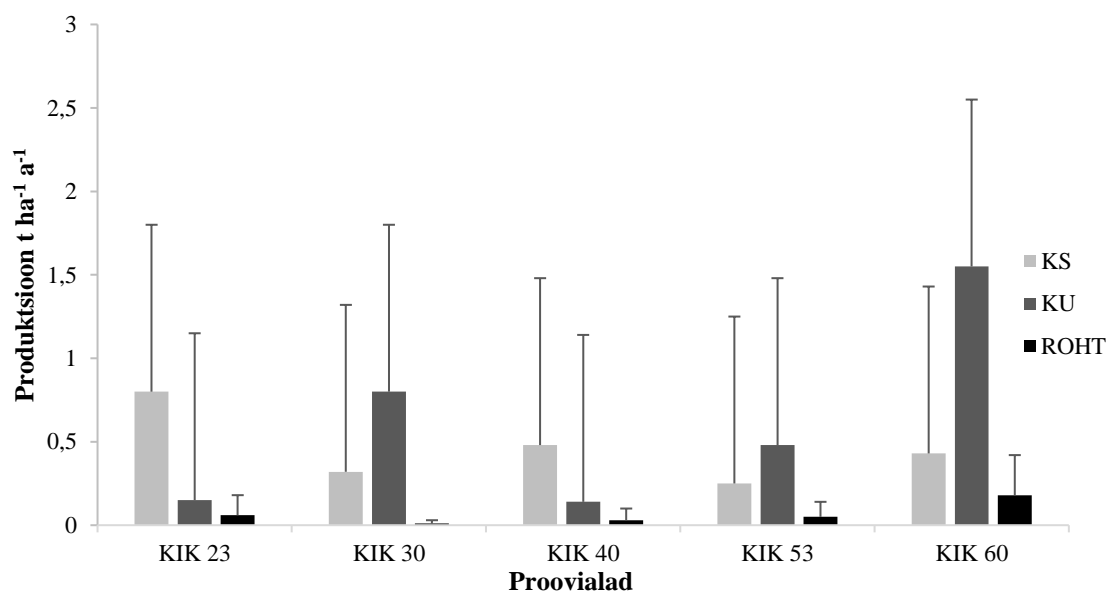
Käesolevas töös osutus peenjuurte produktsioon kõige suuremaks 60-aastases puistus, kus kogu peenjuurte aastane produktsioon küündis  $2,16 \text{ t ha}^{-1}$  (joonis 4). Antud tulemus oli ligi kolm korda suurem kui peenjuuri kõige vähem juurde kasvatanud 40- ja 53-aastased puistud, kus peenjuurte produktsioonid olid vastavalt  $0,65 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  ja  $0,78 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ .

Kase peenjuurte produktsioon jäi vahemikku  $0,25 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  kuni  $0,80 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , osutudes suurimaks kõige nooremas, 23-aastases puistus, moodustades peenjuurte koguproduktsoonist ligi 80%. Kuuse peenjuurte aastane produktsioonivahemik osutus laiemaks, jäädes vahemikku  $0,14 \text{ t ha}^{-1}$  kuni  $1,55 \text{ t ha}^{-1}$ . Niisugune tulemus on tõenäoliselt tingitud kuuskede juuresüsteemi maapinnalähedasemast paiknemisest (*Laas* 2004) võrreldes kasega.

Vastupidiselt kasele kasvas kuuse peenjuuri kõige rohkem juurde vanimas, 60-aastases puistus, moodustades kogu peenjuurte produktsioonist 72%. Ka 30-aastasel proovialal oli kuuse peenjuurte produktsioon märkimisväärne  $0,80 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Võrreldes teiste uuritud puistutega jäi 23- ja 40-aastastes puistutes kuuse peenjuurte produktsioon märgatavalt

madalamale, vastavalt  $0,15 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  ja  $0,14 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Asi *et al.* (2013) uuritud jänesekapsa kasvukohatüübi 56-aastases kuusikus oli kuuse peenjuurte produktsioon  $0,44 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , mis on vastavuses käesoleva töö 53-aastase puistu produktsiooniga ( $0,48 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ). Käesoleva töö tulemustega samasse vahemikku jäävad ka Venemaal juurevõrkude meetodil uuritud kuusikute ja segametsade kuuse peenjuurte aastased produktsioonihinnangud, mis olid vastavalt  $0,63 \text{ t ha}^{-1}$  ja  $0,41 \text{ t ha}^{-1}$  (Lukac & Godbold 2010).

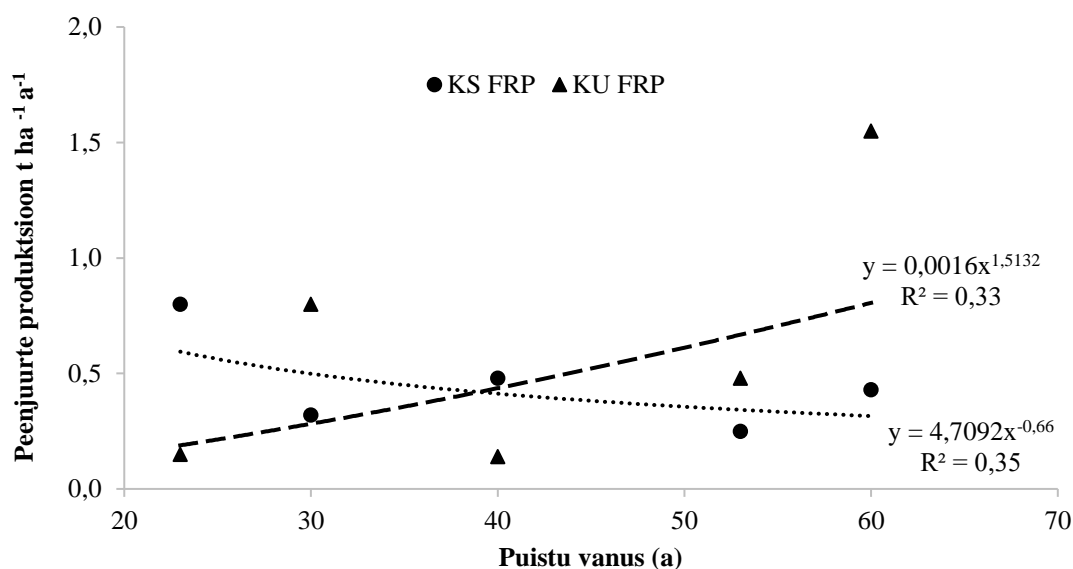
Soome autorite uurimustulemused vähem viljakatel erineva vanusega männikutes näitasid võrreldes kuuse-kase segapuistutega kõrgemat keskmist aastast männi peenjuurte produktsioonitaset (latimets  $1,65 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , keskealine mets  $7,75 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , küps mets  $8,60 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) (Makkonen & fi 2001). Ostonen *et al.* (1999) järgi moodustubki peenjuuri rohkem toitainevaesematel kasvukohtadel, kus puud kasutavad elutegevuseks ekstensiivset strateegiat ehk suurendatakse peenjuurte massi, pikkust ja pindala (Lõhmus *et al.* 2006). Seevastu toitainerikastel ja küllaldaste veeoludega kasvukohtades rakendatakse aga intensiivset strateegiat, kus energia suunatakse ennekõike peenjuurte võimele omastada mullast võimalikult palju toitaineid (Lõhmus *et al.* 2006).



**Joonis 4.** Kase (KS), kuuse (KU) ja rohttaimestiku (ROHT) peenjuurte aastane produktsioon (0-20 cm sügavusel) ja standardhälbed erineva vanusega puistutes

## 2.2 Puistu vanus

Tugevat seost puude peenjuurte produktsiooni ja puistu vanuse kasvamise vahel käesolevas töös ei täheldatud (kase  $R^2=0,35$  ja kuusk  $R^2=0,33$ ), küll aga sai seose hinnata keskmiseks (joonis 5). Puistu vanuse tõustes, väheneb kase peenjuurte produktsioon ( $R=0,59$ ), kuid suureneb kuuse peenjuurte produktsioon ( $R=0,57$ ). Sarnased tulemused saadi ka sookaasikute (Alatalo 2015) ja halli lepa puistute aegreas (Rebane & Pärna 2014). Samas näitavad Finer *et al.* (1997) uuringu tulemused juuresukkade meetodil segametsades selget peenjuurte produktsiooni langust puistu vanuse kasvades. Niisugused kardinaalsed tulemuste varieeruvused võivad olla tingitud puuliikide, kasvukohatüüpide, muldade, kliima jms erinevustest uurimiseks valitud proovialadel (Norby & Jackson 2000, Helmisaari & Makkonen 2001, Van Do *et al.* 2016).

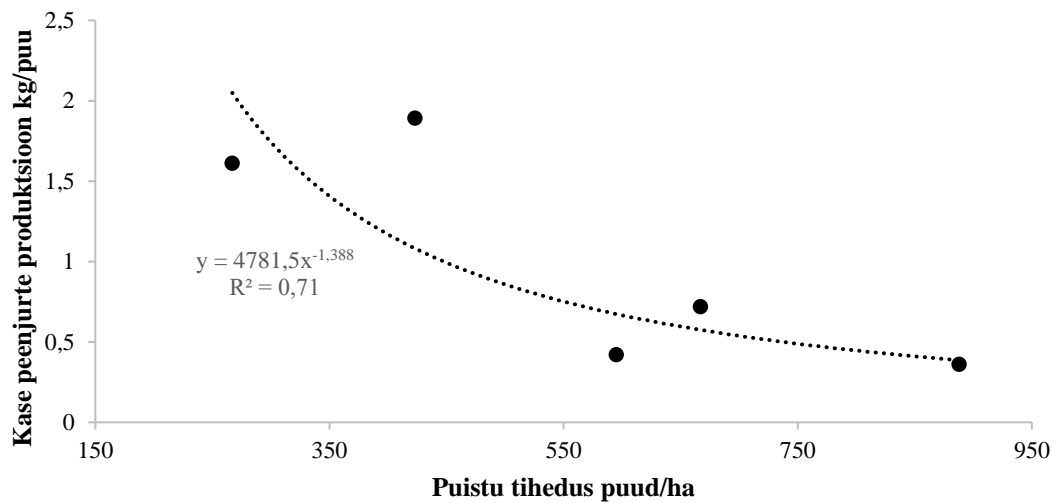


**Joonis 5.** Kase (KS) ja kuuse (KU) peenjuurte produktsiooni (0-20 cm sügavusel mullakihis) ja puistu vanuse vaheline seos

## 2.3 Puistu tihedus

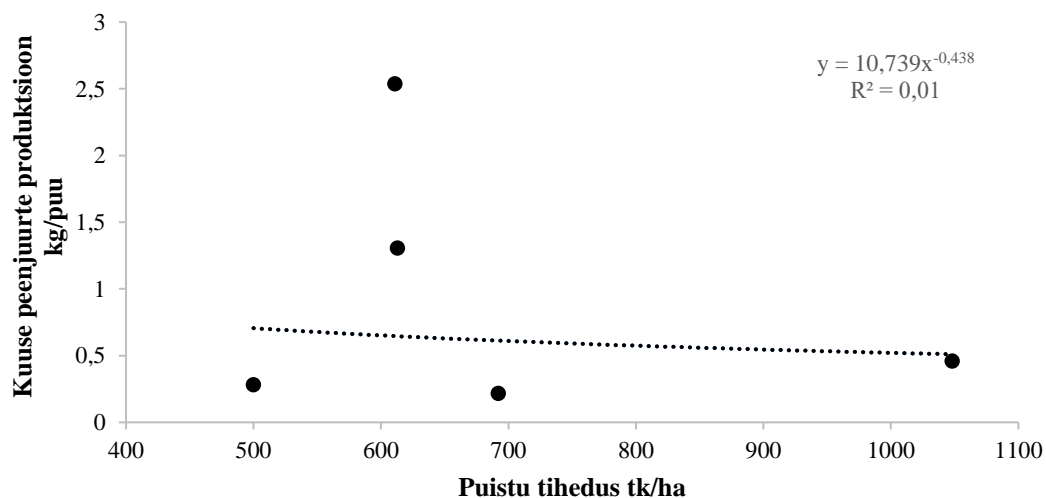
Kase peenjuurte produktsioon puu kohta oli tugevas seoses ( $R^2=0,72$ ) puistu tihedusega. Puistu tiheduse kasvades peenjuurte produktsioon ühe puu kohta langes (joonis 6). Kase peenjuurte produktsioon puu kohta oli kõige kõrgem (1,89 kg/puu kohta) 23-aastases kase-

kuuse segapuistus (tihedus *ca* 420 puud/ha) ja kõige madalam 30- ja 53-aastastes puistutes (vastavalt 0,36 ja 0,42 kg/puu kohta), kus tihedused olid vastavalt *ca* 900 puud/ha ja *ca* 590 puud/ha.



**Joonis 6.** Kase peenjuurte produktiooni (0-20 cm sügavusel mullakihis) ja puistu tiheduse vaheline seos

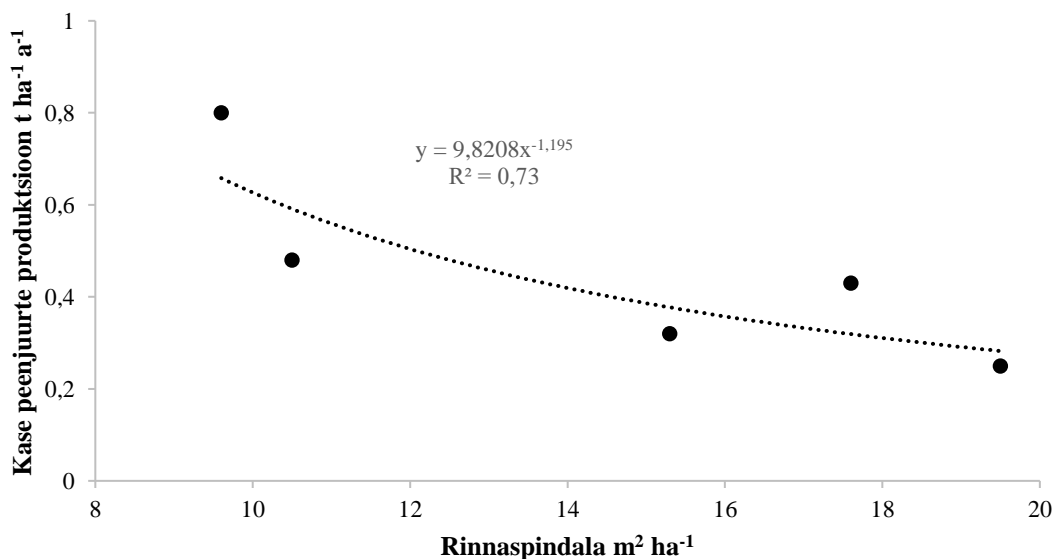
Vastupidiselt kasele, puudus kuuse peenjuurte produktiooni ja puistu tiheduse vahel seos ( $R^2=0,01$ ). Kahel ligikaudu võrdse tihedusega (*ca* 600 puud/ha) puistul varieerus aastane produktioon *ca* 1,5-2,5 kilogrammi puu kohta (joonis 7), kuid samas puistutel tihedusega *ca* 500 ja 1000 puud/ha olid produktioonid samas suurusjärgus, vastavalt 0,2 ja 0,4 kilogrammi puu kohta.



**Joonis 7.** Kuuse peenjuurte produktiooni (0-20 cm sügavusel mullakihis) ja puistu tiheduse vaheline seos

## 2.4 Puistu rinnaspindala

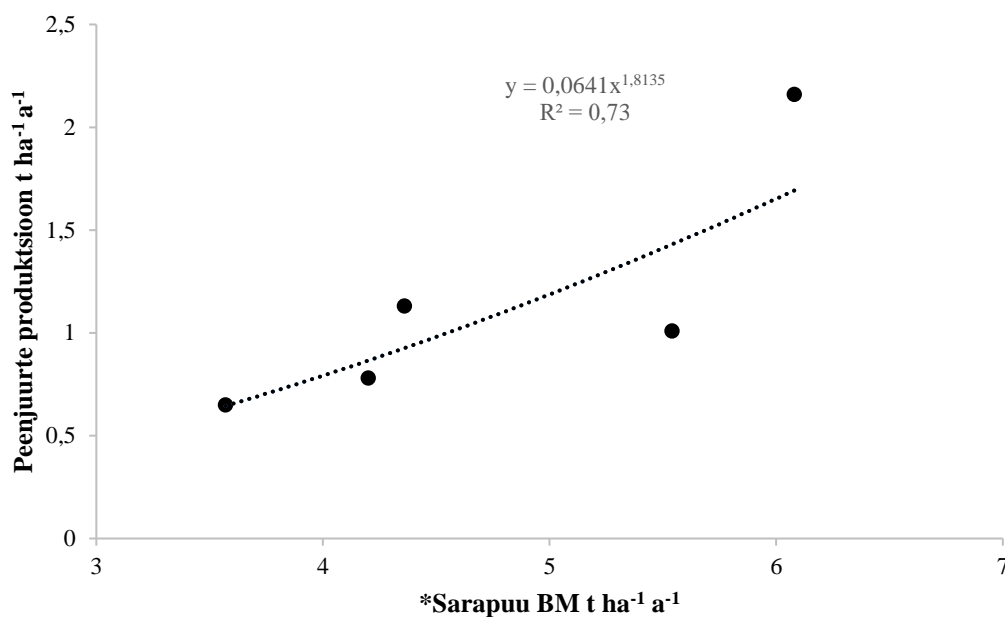
Kaskede rinnaspindala suurenemine avaldas märgatavat mõju kaskede peenjuurte aastasele produktsioonile ( $R^2=0,73$ ), kus rinnaspindala kasvades vähenes ka peenjuurte produktsioon (joonis 8). 23-aastasesel proovialal, kus kaskede rinnaspindala oli väikseim ( $9,3 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ) ulatus peenjuurte produktsioon  $0,80 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Ülejäänud neljal proovialal jäi peenjuurte produktsiooni hinnang rohkem kui 0,40 tonni võrra väiksemaks, langedes 30- ja 53-aastases puistutes (rinnaspindalad  $15,3 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  ja  $19,5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ) vastavalt  $0,32 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  ja  $0,25 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ .



**Joonis 8.** Kase peenjuurte produktsiooni (0-20 cm sügavusel mullakihis) ja rinnaspindala vaheline seos

## 2.5 Puistu biomass

Käesolevas töös käsitletud kase-kuuse segapuistute peenjuurte biomassi on varasemalt hinnanud Sarapuu (2016). Kõrvutades kase-kuuse peenjuurte biomassi hinnanguid antud töö produktsiooni hinnangutega (joonis 9), oli näha, et biomassi kasvades tõusis ka peenjuurte aastane produktsioon ( $R^2=0,73$ ). Ka Soome autorite poolt erinevate puistute uuringuandmete põhjal kokku pandud tulemused näitasid selget peenjuurte produktsiooni tõusu biomassi suurenedes (Finer *et al.* 2011).



**Joonis 9.** Peenjuurte produktiooni (0-20 cm sügavusel mullakihis) ja biomassi (BM) vaheline seos

## 2.6 Süsiniku kontsentratsioon peenjuurtes

Puidu kuivmassi süsiniku kontsentratsiooniks loetakse üldjuhul 50% (Lamlon & Savidge 2003, Terzaghi *et al.* 2016) ehk arvutamaks süsiniku sisaldust puidus korrutatakse kuivaine kaal koefitsendiga 0,5. Erinevate uurimuste tulemused aga on näidanud, et puuliigiti ja fraktsiooniti on süsiniku kontsentratsioon siiski väga varieeruv, kõikides 47-59% vahel (Lamlon & Savidge 2003, Uri *et al.* 2012). Kase erinevatesse fraktsioonidesse seotud süsiniku hulka uurinud Varik (2014) sai kase peenjuurtesse seotud süsiniku sisalduseks 51,3 % ning kuuse süsiniku sisaldust uurinud Uri *et al.* (2015) hinnangul oli alla 5 cm juurtesse seotud süsiniku sisaldus 48,4%. Rohttaimestiku peenjuurtesse seotud süsiniku sisalduse arvutamiseks kasutati koefitsienti 0,43 (Uri *et al.* 2012).

Erinevates metsades moodustab maa-alune produktioon umbes poole aastasest seotud süsinikust, mis teeb juurtest süsinikuringes ühe olulisima komponendi (Borja *et al.* 2008), millest ühe osa moodustavad ka peenjuured. Käesoleva töö tulemustest selgus, et suurim peenjuurtesse aastaga seotud süsiniku hulk oli vanimas, 60-aastases puistus (1,05 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) (tabel 2). Kahes nooremas, 23- ja 30-aastases puistus oli seotud süsiniku hulk vastavalt

0,51 ja 0,56 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> ning vanusereas järgmistes, 40- ja 53-aastastes puistutes ühe aastaga peenjuurtesse seotud süsiniku hulk langes (0,33 ja 0,38 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>).

**Tabel 2.** Peenjuurte produktsioon (FRP) (0-20 cm sügavusel mullakihis) ja neisse aastaga seotud süsinik (C) erineva vanusega kuuse-kase segametsades

Prooviala	KS		KU		ROHT		KOKKU	
	FRP t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	C t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	FRP t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	C t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	FRP t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	C t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	FRP t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	C t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
KIK23	0,80	0,41	0,15	0,07	0,06	0,03	1,01	0,51
KIK30	0,32	0,16	0,80	0,39	0,01	0,00	1,13	0,56
KIK40	0,48	0,24	0,14	0,07	0,03	0,01	0,65	0,33
KIK53	0,25	0,13	0,48	0,23	0,05	0,02	0,78	0,38
KIK60	0,43	0,22	1,55	0,75	0,18	0,08	2,16	1,05

Hindamaks uuritud puistutes aasta jooksul akumulunud kogu süsiniku hulka on vajalik määrata ka uurimata maa-aluses (jämedad juured ja kännud) ja ka maapealses biomassis (oksad, tüved, lehed) talletunud süsiniku varu.

## 2.7 Süsiniku voog mulda läbi juurevarise

Sarapuu (2016) mullamonoliitide meetodil hinnatud peenjuurte biomass (0-40 cm mullakihis) ja käesolevas töös juurevõrkude meetodil hinnatud aastane peenjuurte produktsioon (0-20 cm mullakihis) võimaldavad arvutada peenjuurte keskmise käibekiiruse ja nende eluea. Kuna käesolevas töös kasutatud juurevõrkude meetodil saab aastast peenjuurte produktsiooni hinnata vaid 0-20 cm sügavuses mullakihis, siis leiti peente juurte biomassi osakaal ka 20-40 cm kihis, et saadud suhtarvu võrra suurendada aastast peenjuurte produktsioonihinnangut alumises kihis. Tulemuste põhjal arvutati eraldi kuuse, kase ja rohttaimede juurevarise kaudu aastaga mulda jõudnud C voog (tabelid 3-5) ning kogu juurevarise kaudu mulda jõudnud aastane süsiniku hulk (tabel 6).

Peenjuurte eluiga on võimalik hinnata mitmete meetodite (nii otseste kui ka kaudsete) abil ja keskmiselt on erinevad tulemused andnud vanuseks mõni nädal kuni 8 aastat (Ostonen &



Lõhmus 2004). Niisugusesse vahemikku jäid ka käesoleva töö 30-, 53- ja 60-aastaste puistute kuuse peenjuurte eluea hinnangud – 1,85-4,35 aastat (tabel 3). Erakordselt kõrged tulemused olid aga 25- ja 40-aastastes puistutes, kus elueaks saadi *ca* 15 aastat. Niisuguseid tulemusi võib lugeda eranditeks. Siinkohal on taaskord oluline rõhutada, et nii valimi suurus, uurimismeetodid, kasvukohatüübid ja ka fakt, et tegemist on kas puht- või segapuistutega, mängivad saadud tulemustes olulist rolli. Norras puhtkuusikut uurinud Gaul *et al.* (2009) sai minirisotronide meetodil peenjuurte elueaks keskmiselt 0,7 aastat ja järjestikuse mullapuurimise meetodil 0,9 aastat, kuid radiosüsiniku meetodil hoopis oluliselt suuremad 5,4 aastat, millest viimast pidas autor suure tõenäosusega ülehinnanguks ning esimesi jällegi alahinnanguks. Uuritud kase-kuuse segametsades kõigub kase peenjuurte eluiga *ca* 1,5-4,7 aasta vahel (tabel 4). Päevades teeb see peenjuurte elueaks keskmiselt 1012 päeva, mis on väga lähedane Rootsi lõunaosas asuvates kaasikutes minirisotroni meetodil keskmiseks elueaks saadud 922 päevale (Hansson *et al.* 2013). Käesoleva tööga võrreldes veidi madalam, kuid samuti väga sarnane tulemus (714 päeva) saadi ka Eestis uuritud jänesekapsa kaasikutes (Varik *et al.* 2015).

Käibekiiruseks loetakse protsessi, kus peenjuured surevad ja nende asemele kasvavad uued aktiivsed peenjuured (Block *et al.* 2006) ning surnud peenjuurte kaudu seotakse süsinik mulda. Kuna tegemist on eluea pöördväärtusega, siis mida lühem on peenjuurte eluiga, seda suurem on ka käibekiirus (Ostonen & Lõhmus 2004). Kuuse peenjuurte aastane käibekiirus (tabel 4) (ilma 25- ja 40-aastase puistuta) jäi antud töös keskmiselt 0,4 juurde ehk ühe aasta jooksul vahetati peenjuurte biomass välja umbes 0,4 korda. Rootsis uuritud kuusikutes saadi keskmiseks peenjuurte käibekiiruseks 0,35 (Hasson *et al.* 2013). Käesoleva töö kase peenjuurte aastased käibekiirused erineva vanusega puistutes olid 0,2-0,6, mis jäävad kaasikuid uurinud Varik *et al.* (2015) peenjuurte käibekiiruse hinnangutega (0,51-0,66) ja Hansson *et al.* (2013) hinnangutega (0,29-0,40) ligilähedasse suurusjärku.

Kui kuuse ja rohttaimede puhul jõudis mulda kõige rohkem süsinikku vanimas puistus, siis kase puhul vastupidi noorimas puistus. Kuna rohttaimede peenjuurte osakaal oli võrreldes kuuse- ja kase peenjuurtega tunduvalt väiksem (tabel 5), siis oli ka mulda seotud aastane süsiniku hulk keskmiselt vaid 0,03 t ha<sup>-1</sup>. Rohttaimede kaudu suurim mulda seotud süsiniku hulk oli 60-aastases puistus (0,08 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>). Ülejäänud nooremates puistutes jäi see tulemus vaid 0,01-0,03 t ha<sup>-1</sup> vahele.

**Tabel 3.** Kuuse peenjuurte biomass (BM) (0-40 cm sügavusel mullakihis) (Sarapuu 2016), aastane produktsioon (0-40 cm sügavusel mullakihis), käibekiirus, eluiga ja mulda seotud süsiniku hulk

Kiht	KU 25	KU 30	KU 40	KU 53	KU 60
BM 0-10, t ha <sup>-1</sup>	1,50	1,34	1,84	1,43	1,75
BM 10-20, t ha <sup>-1</sup>	0,88	0,62	0,38	0,66	1,11
BM 20-30, t ha <sup>-1</sup>	0,44	0,24	0,29	0,74	0,28
BM 30-40, t ha <sup>-1</sup>	0,26	0,08	0,03	0,23	0,07
BM 0-40, t ha <sup>-1</sup>	3,08	2,28	2,54	3,06	3,21
Produktsioon 0-20 cm, t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	0,15	0,80	0,14	0,48	1,55
Produktsioon 0-40 cm, t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	0,19	0,93	0,16	0,70	1,74
Käibekiirus, a <sup>-1</sup>	0,06	0,41	0,06	0,23	0,54
Peenjuurte eluiga, a	15,87	2,45	15,86	4,35	1,85
<b>C mulda t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup></b>	<b>0,09</b>	<b>0,45</b>	<b>0,08</b>	<b>0,34</b>	<b>0,84</b>

**Tabel 4.** Kase peenjuurte biomass (BM) (0-40 cm sügavusel mullakihis) (Sarapuu 2016), aastane produktsioon (0-40 cm sügavusel mullakihis), käibekiirus, eluiga ja mulda seotud süsiniku hulk

Kiht	KS 25	KS 30	KS 40	KS 53	KS 60
BM 0-10, t ha <sup>-1</sup>	0,82	1,17	0,57	0,30	0,70
BM 10-20, t ha <sup>-1</sup>	0,75	0,34	0,16	0,24	0,81
BM 20-30, t ha <sup>-1</sup>	0,52	0,26	0,08	0,21	0,70
BM 30-40, t ha <sup>-1</sup>	0,10	0,10	0,12	0,09	0,08
BM 0-40, t ha <sup>-1</sup>	2,19	1,87	0,93	0,84	2,29
Produktsioon 0-20 cm, t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	0,80	0,32	0,48	0,25	0,43
Produktsioon 0-40 cm, t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	1,12	0,40	0,61	0,39	0,65
Käibekiirus, a <sup>-1</sup>	0,51	0,21	0,66	0,46	0,28
Peenjuurte eluiga, a	1,96	4,72	1,52	2,16	3,51
<b>C mulda t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup></b>	<b>0,57</b>	<b>0,20</b>	<b>0,31</b>	<b>0,20</b>	<b>0,33</b>

**Tabel 5.** Rohttaimede peenjuurte biomass (BM) (0-40 cm sügavusel mullakihis) (Sarapuu 2016), aastane produktsioon (0-40 cm sügavusel mullakihis), käibekiirus, eluiga ja mulda seotud süsiniku hulk keskmisel

Kiht	ROHT 25	ROHT 30	ROHT 40	ROHT 53	ROHT 60
BM 0-10, t ha <sup>-1</sup>	0,16	0,15	0,07	0,21	0,50
BM 10-20, t ha <sup>-1</sup>	0,08	0,05	0,02	0,08	0,06
BM 20-30, t ha <sup>-1</sup>	0,03	0,02	0,01	0,03	0,02
BM 30-40, t ha <sup>-1</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
BM 0-40, t ha <sup>-1</sup>	0,28	0,23	0,11	0,33	0,59
Produktsioon 0-20, cm, t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	0,06	0,01	0,03	0,05	0,18
Produktsioon 0-40, cm, t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	0,07	0,02	0,04	0,06	0,19
Käibekiirus, a <sup>-1</sup>	0,25	0,09	0,33	0,17	0,32
Peenjuurte eluiga, a	4,00	11,50	3,00	5,80	3,11
<b>C mulda t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup></b>	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,08</b>

Kogu peenjuurte varise kaudu jõudis mulda kõige vähem süsinikku 40-aastases puistus (0,41 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) ja kõige rohkem süsinikku 60-aastases puistus (1,26 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>), mis oli pea poole võrra rohkem kui 25-, 30- ja 53-aastastes puistutes (0,69 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, 0,66 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, 0,56 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) (tabel 6). Soomes 90-aastases viljaka kasvukohatüübiga kuusemetsas, kus kasvas ka üksikuid kaski, osutus peenjuurte varise kaudu mulda jõudnud süsiniku hulk kõrgemaks (0,83 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) (Leppälammil-Kujansuu *et al.* 2014) kui käesoleva töö alla 60-aastastes puistutes. Ka arukaasikutes seoti peenjuurte varise kaudu aasta jooksul mulda 0,46-0,74 t C ha<sup>-1</sup>, moodustades maa-alusesse biomassi seotud süsiniku hulgast arvestatavad 11-25% (Varik 2014).

**Tabel 6.** Kogu peenjuurte varise kaudu mulda jõudnud süsiniku hulk kuuse-kase segametsade aegreas

	KIK 25	KIK 30	KIK 40	KIK 53	KIK 60
KU C mulda, t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	0,09	0,45	0,08	0,34	0,84
KS C mulda, t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	0,57	0,20	0,31	0,20	0,33
ROHT C mulda, t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	0,03	0,01	0,02	0,02	0,08
<b>Kokku C mulda t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup></b>	<b>0,69</b>	<b>0,66</b>	<b>0,41</b>	<b>0,56</b>	<b>1,26</b>

Hindamaks uuritud puistutes aasta jooksul mulda jõudnud kogu süsiniku hulka, tuleb lisaks juurevarisele anda hinnang ka läbi maapealse varise mulda jõudvale süsiniku voole.

## KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk oli hinnata peenjuurte aastast produktsiooni, sellesse seotud süsiniku hulka ja juurevarise kaudu mulda seotud süsiniku hulka viies jänesekapsa kasukohatüübi kase-kuuse segametsas. Hinnangu andmiseks kasutati juurevõrkude meetodit. Juurevõrgud sisestati mulda 2015. aasta sügisel ja eemaldati aasta hiljem.

- Peenjuurte produktsioonid 23-, 30-, 40-, 53- ja 60-aastastes puistutes olid vastavalt 1,01, 1,13, 0,65, 0,78 ja 2,16 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>.
- Puistu vanuse ja peenjuurte produktsiooni vahel leiti keskmine seos. Puistu vanuse tõustes, väheneb kase peenjuurte produktsioon (R=0,59), kuid suureneb kuuse peenjuurte produktsioon (R=0,57).
- Puistu tiheduse ja kuuse peenjuurte produktsiooni vahel seost ei leitud, küll aga osutus seos tugevaks (R=0,84) puistu tiheduse ja kase peenjuurte produktsiooni vahel. Mida suurem oli puistu tihedus, seda väiksem kase peenjuurte produktsioon.
- Puistu rinnaspindala ja kase peenjuurte produktsiooni vaheline seos oli tugev (R=0,85) – mida suurem oli puistu rinnaspindala, seda väiksem oli kase peenjuurte produktsioon ühe puu kohta.
- Kogu puistu peenjuurte biomassi ja produktsiooni vahel leiti tugev seos (R=0,85) – mida suurem peenjuurte biomass, seda rohkem peenjuuri juurde kasvas.
- Aastane peenjuurtesse seotud süsiniku hulk uuritud puistute aegreas oli vastavalt 0,5, 0,6, 0,3, 0,4, 1,0 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> ja peenjuurte varise kaudu jõudis mulda vastavalt 0,7, 0,7, 0,4, 0,6 ja 1,3 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>.

Käesoleva bakalaureusetöö tulemused on olulised mitmekesistamaks teadmisi peenjuurte produktsiooni, neisse seotud süsiniku ja nende kaudu mulda jõudnud süsiniku hulga kohta ning on kasutatavad süsinikubilansi arvutustes.

## VIIDATUD ALLIKAD

1. **Aastaraamat Mets 2014.**  
[[http://www.keskkonnaagentuur.ee/sites/default/files/aastaraamat\\_mets\\_2014.pdf](http://www.keskkonnaagentuur.ee/sites/default/files/aastaraamat_mets_2014.pdf)] (1.03.2017)
2. **Alatalo, T.** (2015). Peenjuurte biomass ja produktsioon sookaasikute (*Betula pubescens* Ehrh.) aegreas jänesekapsa-kõdusoo kasvukohatüübis. (Magistritöö). Eesti maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu.
3. **Arnold, K.,** (2004). Forests and greenhouse gases: fluxes of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O from drained forests on organic soils. – Linköping: 47 p.
4. **Aosaar, J., Varik, M., Lõhmus, K., Ostonen, I., Becker, H., Uri, V.** (2013). Long-term study of above- and below-ground biomass production in relation to nitrogen and carbon accumulation dynamics in a grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on former agricultural land. – *European Journal of Forest Research*. 132 (5-6), 737-749.
5. **Asi, E., Frey, J., Ostonen, I., Timmusk, T.** (2013). Kasvuhoonegaaside heitkoguste inventuuri uuringud riikliku aruandluse täitmiseks maakasutuse ja metsandussektoris. – *Keskkonnateabe keskus*. Tartu: 80 lk.
6. **Bhuiyan, B., Minkinen, K., Helmisaari, H.-S., Ojanen, P., Penttilä, T., Laiho, R.** (2016). Estimating fine-root production by tree species and understorey functional groups in two contrasting peatland forests. – *Plant and Soil*, 412 (1), 299-316.
7. **Block, R.M.A., Rees, K.C.J., Knight, J.D.** (2006) A review of fine root dynamics in *Populus* plantations. – *Agroforestry Systems*, 67, 73-84.
8. **Borja, I., De Wit, H.-A., Steffenrem, A., Hooshang, M.** (2008) Stand age and fine root biomass, distribution and morphology on Norway spruce chronosequence in southeast Norway. – *Tree Physiology*, 28, 773-784.
9. **Broadmeadow, M. S. J., Ray, D., Samuel, C. J. A.** (2005). Climate change and the future for broadleaved tree species in Britain. – *Forestry*, 78 (2), 145-161.
10. **Brunner, I., Godbold, D.-L.** (2007) Tree roots in changing world. *J Forest Res*, 12, 78-82.
11. **Finer, L., Helmisaari, H.-S., Lõhmus, K., Majdi, H., Brunner, L., Borja, I., Eldhuset, T., Goldbold D., Grebenc, T., Knopka, B., Kraigher, H., Möttönen, M.-R., Ohashi, M., Oleksyn, J., Ostonen, I., Uri, V., Vanguelova, E.** (2007). Variation on fine root biomass of three European tree species: Beech (*Fagus sylvatica* L.), Norway spruce (*Picea abies* L. Karst), and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). – *Plant Biosystems*, 141, 1-12.

12. **Finer, L., Ohashi, M., Noguchi, K., Hirano, Y.** (2011). Fine root production on forest ecosystems in relation to stand and environmental characteristics. – *Forest Ecology and Management*, 262, 2008-2023.
13. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)** (2015). Global forest resources assessment 2005. – Rome: 54 p.
14. **Gaul, D., Hertel, D., Leuschner C.** (2009) Estimating fine root longevity in a temperate Norway spruce forest using three independent methods. – *Functional Plant Biology*, 36, 11-19.
15. **Hansson, K., Helmisaari, H.-S., Sah, S.-P., Lange, H.** (2013) Fine root production and turnover of tree and understorey vegetation in Scots pine, silver birch and Norway spruce stands on SW Sweden. – *Forest Ecology and Management*, 309, 58-65.
16. **Hertel, D., Leuschner, C.** (2002), A Comparison of four different fine root production estimates with ecosystem carbon balance data in *Fagus-Quercus* mixed forest. – *Plant and Soil*, 239, 237-251.
17. **Hirano, Y., Noguchi, K., Ohashi, M., Hishi, T., Makita, N., Fujii, S., Finer, L.** (2009). A new method for placing and lifting root meshes for estimating fine root production in forest ecosystems. – *Plant Root*, 3, 26-31.
18. **Karu, H.** (2005). Süsiniku akumulatsioon Narva karjääri männikultuuride aegreas. (Magistritöö). Tartu Ülikooli botaanika ja ökoloogia instituut. Tartu.
19. **Laas, E.** (2004). Okaspuud. Tartu: Altex. 360 lk.
20. **Lambers, S.-H., Savidge, R.-A.** (2003) A reassessment of carbon content in wood: variation within and between North American species. – *Biomass and Bioenergy*, 25, 381-388.
21. **Leppälammi-Kujansuu, J., Aro, L., Salemaa, M., Hansson, K., Kleja, D.-B., Helmisaari, H.-S.** (2014). Fine root longevity and carbon input into soil from below- and aboveground litter in climatically contrasting forests. – *Forest Ecology and Management*, 326, 79-90.
22. **Le Quere, C., Andrew, R.-M., Sitch, S., Korsbakken J.-I., Peters, G.-P., Manning, A.-C. et al.** (2016). Global carbon budget 2016. – *Earth System Science Data*, 8, 605-649.
23. **Lukac, M., Godbold, D.-L.** (2010). Fine root biomass and turnover in southern taiga estimated by root inclusion nets. – *Plant Soil*, 331, 505-513.
24. **Lõhmus, E.** (2004). Eesti metsakasvukohatüübid. Tartu: 80 lk.
25. **Lõhmus, K., Truu, M., Truu, J., Ostonen, I., Kaar, E., Vares A et al.** (2006). Functional diversity of culturable bacterial communities in the rhizosphere in relation to fine root and soil parameters in alder stands on forest abandoned agricultural and oil shale areas. – *Plant and Soil*, 283 (1-2), 1-10.
26. **Helmisaari, H.-S., Makkonen, K.** (2001). Fine root biomass and production in Scots pine stands in relation to stand age. – *Tree Physiology*, 21, 193-198
27. **Norby, R. J., Jackson, R. B.** (2000). Root Dynamics and global change: seeking an ecosystem perspective. – *New Phytologist*, 147, 3-12.

28. **Osawa, A., Aizawa, R.** (2012). A new approach to estimate production, mortality and decomposition of fine roots using litter-bag experiments and ordinary soil-core techniques. – *Plant Soil*, 355, 167-181.
29. **Ostonen, I., Lõhmus, K.** (2004). Kui kaua elavad puude peened juured ehk demograafiline tasakaal puude peente juurte populatsioonis. – *Schola Biotheoretica.*, 30, 109-116.
30. **Rebane, S., Pärna, B.-E.** (2014). Halli lepa peenjuurte biomass ja produktsioon puistute vanusereas. (Bakalaureusetöö). Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu.
31. **Rosenvald, K.** (2011). Factors affecting ectomycorrhizal roots and rhizosphere in silver birch stands. (Doktoritöö). University of Tartu, Institute of Ecology and Earth Sciences. Tartu.
32. **Sarapuu, S.** (2016). Peenjuurte biomass erineva vanusega kase (*Betula pendula*)-kuuse (*Picea abies*) segametsades. (Bakalaureusetöö). Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu.
33. **Terzaghi, M., Di Iorio, A., Montagnoli, A., Baesso, B., Scippa, G.-S., Chiatante, D.** (2016). Forest canopy reduction stimulates xylem production and lowers carbon concentration in fine roots of European beech. – *Forest Ecology and Management*, 379, 81-90.
34. **Uri, V., Lõhmus, K., Ostonen, I., Tullus, H., Lastik, R., Vildo, M.** (2007). Biomass production, foliar and root characteristics and nutrient accumulation in young Silver birch (*Betula pendula* Roth.) stands growing on abandoned agricultural land. – *European Journal of Forest Research*, 126, 495-206.
35. **Uri, V., Aosaar, J., Kanal, A., Kukumägi, M., Lõhmus, K.** (2012). Biomass production and carbon sequestration in a fertile silver birch (*Betula pendula* Roth.) forest chronosequence. – *Forest Ecology and Management*, 267, 117-126.
36. **Uri, V., Aosaar, J., Varik, M., Becker, H., Kukumägi, M., Ligi, K., Pärn, L., Kanal, A.** (2015). Biomass resource and environmental effects of Norway spruce (*Picea abies*) stump harvesting: An Estonian case study. – *Forest Ecology and Management*, 335, 207-215.
37. **Van Do, T., Sato, T., Kozan, O.** (2016). A new approach for estimating fine root production in forests: a combination of ingrowth core and scanner. – *Trees*, 30, 545-554.
38. **Varik, M.** (2014). Süsiniku vood ning varud erivanuselistes arukaasikutes. (Doktoritöö). Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu.
39. **Varik, M., Kukumägi, M., Aosaar, J., Becker H., Ostonen, I., Lõhmus, K., Uri, V.** (2015) Carbon budgets on fertile silver birch (*Betula pendula* Roth.) chronosequence stands. – *Ecological Engineering*, 77, 284-296.
40. **Wang, X., Fujita, S., Nakaji, T., Watanbe, M., Satoh, F., Koike, T.** (2015) Fine root turnover of Japanese white birch (*Betula platyphalla* var. *japonica*) grown under elevated CO<sub>2</sub> in northern Japan. – *Trees*, 30, 363-374.
41. **Yuan, Z.-Y., Chen, Y.-H.** (2012) Indirect methods produce higher estimates of fine root production and turnover rates than direct methods. – *Plos One* 7, e48989.

## **Fine root production in a chronosequence of Silver birch (*Betula pendula* Roth.)-Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) mixed forests**

### **SUMMARY**

The aim of this study was to estimate annual fine root production, the accumulated carbon in it and carbon flux through fine root litter into the soil in a chronosequence (23-, 30-, 40-, 53- and 60-year-old) of Silver birch (*Betula pendula* Roth.)-Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) mixed forests. Five studied stands were all located in Southern Estonia. The root mesh method was used for estimation of fine root production.

- Fine root production in 23-, 30-, 40-, 53- and 60-year-old stands was 1.01, 1.13, 0.65, 0.78 and 2.16 t ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>, respectively.
- Moderate relationship between fine root production and stand age was found. With increasing stand age, birch fine root production decreased (R=0,59), but spruce fine root production increased (R=0,57).
- There was no substantial relationship between stand density and fine root production of Norway spruce, but there was a significant relationship (R=0,84) between stand density and fine root production of Silver birch. The bigger the density of the stand, the smaller the fine root production of Silver birch.
- The relationship between birch fine root production and basal area was found to be strong (R=0,85) – the bigger the basal area, the smaller the production of one tree was.
- The results showed a strong relationship (R=0,85) between fine root biomass and fine root production – the larger the biomass was, the more fine roots grew.
- Carbon accumulation in fine roots was 0.5, 0.6, 0.3, 0.4, 1.0 t C ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>, respectively. The largest annual C input into the soil via fine root litter was in the oldest, 60-year-old stand – 1.26 t C ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>. In 23-, 30-, 40- and 53-year-old stands the mentioned estimate was 0.7, 0.7, 0.4, 0.6 and 1.3 t C ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>, respectively.

The results of the current Bachelor's thesis are important to diversify the knowledge of fine root production and carbon flows. Moreover, these results can be used in calculations for carbon budgets.



**LISAD**

## **Lisa 1. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Liis Sepp,

sünniaeg, 07.06.1993

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö Peenjuurte produktsioon kase (*Betula pendula* Roth.)–kuuse (*Picea abies* (L.) Karst.) segapuistute aegreas, mille juhendaja on Mats Varik,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, *Kuupäeva sisestamiseks klõpsake siin.*

## **Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_  
(kuupäev)

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_  
(kuupäev)